

# PERFIS HORIZONTAIS DE TEMPERATURA DO SOLO COMO FERRAMENTA DE LOCAÇÃO DE POÇOS NO SEMI-ÁRIDO

**José Geilson Alves Demetrio<sup>1</sup> & Nelson Ellert<sup>2</sup>**

**Resumo** - Devido ao aumento da demanda por água na região semi-árida brasileira, as rochas cristalinas, que ocupam mais de 50% da área, vêm sendo cada vez mais utilizadas para o aproveitamento de água subterrânea. Dois aspectos negativos caracterizam as rochas cristalinas como fonte de abastecimento d'água, a baixa vocação hidrogeológica e os altos teores de sais. Os dessalinizadores atualmente podem ser considerados economicamente viáveis, solucionando, assim, o problema dos altos teores salinos. Quanto a limitação hídrica do meio, só resta melhorar a identificação de zonas mais favoráveis, ou seja, zonas mais intensamente fendilhada. Diversos métodos, geofísicos ou não, podem ser utilizados na caracterização de zonas fraturadas, no entanto, nenhum método é capaz de indicar a presença de água em zona fendilhada. Neste sentido é que foi iniciada a pesquisa da utilização de perfis horizontais de temperatura do solo, a pequenas profundidades, para verificar a possibilidade da utilização dessa metodologia na identificação de zonas fraturadas, em rochas do cristalino do semi-árido, e sua potencialidade hídrica. No estágio atual do desenvolvimento da pesquisa foram definidos os procedimentos, os materiais e equipamentos para a realização dos perfis de temperatura. Os primeiros ensaios revelaram a possibilidade de identificação de zonas fraturadas com essa metodologia.

**Palavras-chave** - temperatura, cristalino, semi-árido

## 1. INTRODUÇÃO

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco/Laboratório de Hidrogeologia – Prof. Adjunto; Fone/Fax (0XX-81)271.8239 – [geilson@npd.ufpe.br](mailto:geilson@npd.ufpe.br)

<sup>2</sup> Hidroambiente - Diretor de Projetos; Fone (0XX-11)869..4500 - : [nellert@dialdata.com.br](mailto:nellert@dialdata.com.br)

O semi-árido nordestino, além das adversidades climáticas, é marcado pelo domínio de rochas cristalinas pré-cambrianas. Como o clima não favorece o desenvolvimento de solos, o armazenamento d'água fica limitado quase que exclusivamente às zonas fendilhadas. Por outro lado, água encontrada nessas fendas apresentam qualidade físico-química inadequada para o consumo humano. Cerca de 80% das águas provenientes de rochas cristalinas no semi-árido apresentam resíduo seco superior a 1000 ppm (Demetrio et al., 1993). Tais características fizeram por muito tempo com que as rochas cristalinas do nordeste fossem relegadas como manancial hídrico subterrâneo.

O contínuo aumento da demanda por água e a evolução tecnológica dos dessalinizadores, são fatores decisivos para o crescente interesse pelo aproveitamento das águas subterrâneas em rochas cristalinas do semi-árido. Uma consequência imediata tem sido a necessidade da otimização das locações dos poços, pois, o sucesso das atuais locações está por volta de 80 % (poços com descarga superior a 500 l/h). Essa taxa é baseada nas informações dos profissionais que atuam na área.

## **2. MÉTODOS DE LOCAÇÃO**

Atualmente o hidrogeólogo dispõe de diversas ferramentas para a pesquisa de água subterrânea em terrenos cristalino do semi-árido. Desde de aerofotos e mapas até prospecção geofísica. Dentre estas, as mais utilizadas são a eletroresistividade e o VLF. Todo esse arsenal, quando utilizado de forma adequada, é bastante útil para delimitar zonas fraturadas, porém, nenhuma das metodologia ainda é capaz de identificar a presença de água nas fraturas.

Buscando uma metodologia que pudesse fornecer alguma informação sobre a *potencialidade hídrica* das zonas fraturadas é que iniciamos uma pesquisa para verificar a possibilidade da utilização de perfis horizontais do solo, a pequena profundidade (entre 0,5 e 1.0 m ). Nessa primeira fase de investigação foi analisada a viabilidade da técnica, dos equipamentos e dos procedimentos.

## **3. TRABALHOS ANTERIORES**

A busca de trabalhos relacionadas diretamente com o tema aqui tratado, revelou que há poucas contribuições. O trabalho mais recente data de 1987.

O trabalho mais antigo encontrado foi de Kappelmeyer (1957), que fez uma abordagem matemática dos valores de temperatura em pequenas profundidades, mostrando que medidas de temperaturas poderiam ser aplicadas para detectar fissuras,

fraturas e estruturas similares que facilitassem o transporte de calor convectivo proveniente de profundidades maiores.

Para verificar a aplicabilidade do método, Kappelmeyer (op. cit.), realizou uma série de perfis de temperatura, no vale do Rio Neckar, próximo a Kiebingen, Alemanha. As temperaturas foram tomadas a uma profundidade de 1,5 metros e a equidistância entre as estações foi de 20 metros. O mapa elaborado a partir das medidas de temperatura, revelou claramente um aumento da temperatura do solo acima da fratura pesquisada.

Poley e van Steveninck (1970) utilizaram perfis de temperatura do solo, com medidas feitas a 1,5 metros de profundidade, na delimitação de domo salino, fraturas e falhas. A aplicação dessa metodologia na determinação de fraturas e falhas, Poley e van Steveninck, (1971), deve-se basicamente à diferença de condutividade térmica entre a zona fraturada e a rocha sã. Esta diferença é decorrente de uma alteração na textura, porosidade, etc da rocha ao longo da falha/fratura, e até mesmo devido às mineralizações secundárias. Dois perfis realizados, para estudar a aplicabilidade do método, mostraram nítidas anomalias térmicas sobre falhas. Eles concluíram que tratava-se de um método simples, barato e rápido, e que requer pequenas correções durante a interpretação. Os perfis também podem ser feitos diretamente sobre os fundos de lagos e pântanos.

Parasnis (1971), analisando o trabalho de Poley e van Steveninck, 1970, desenvolveu uma metodologia, a partir dos valores de temperaturas obtidos nos 10 primeiros minutos após instalação da sonda de temperatura, para inferir qual seria a temperatura de equilíbrio. Esta metodologia foi desenvolvida para abreviar o tempo previsto por Poley e van Steveninck, que sugeriram aguardar pelos menos 1 hora após instalação do último termômetro para tomar as temperaturas.

Geertsma (1971) fez uma análise numérica, utilizando o método dos elementos finitos, dos casos estudados por Poley e van Steveninck, 1970 e 1971. Os resultados apresentados mostraram perfeita concordância entre os valores calculados e os valores de campo. Ressaltou, nas conclusões, a necessidade de mais trabalhos experimentais.

Moscicki (1987.), utilizou medidas de temperatura do solo, à profundidade de 20 cm, para determinar cavidades no solo. Realizou perfis de temperatura em diversas épocas do ano de 1987 e mostrou que havia um bom ajuste entre os dados observados em campo e os dados obtidos por modelos matemáticos.

Oelsner (1989), utilizou termômetros infravermelhos para a realização de perfis de temperatura da superfície do terreno, cobrindo longas distâncias (550 km). As medições eram sempre realizadas entre o ocaso e a alvorada. Mostrou que há uma relação direta

entre a topografia e a temperatura da superfície do solo, bem como a possibilidade de detectar a estruturas geológicas.

Khesin e Eppelbaum (1994) fizeram uma revisão do processamento e interpretação da prospecção termal com medidas de temperatura próximas à superfície. Para corrigir os efeitos do relevo, sugeriram fazer uma regressão entre os valores de temperatura e os valores das cotas, e calcular os coeficientes de regressão

Khesin e Eppelbaum (op. cit.) também relataram dois casos estudados por eles, nos quais as medidas de temperatura foram feitas a 1,0 metro de profundidade. Estes dois casos serviram para os autores fazerem analogias com perfis magnéticos e interpretações quantitativas, basicamente inferindo sobre a profundidade das anomalias térmicas.

#### 4. AS SONDAS DE TEMPERATURA

Os sensores de temperatura utilizados foram termistores Sanyo, referência SDT100, em forma de disco ( $\varnothing = 5\text{mm}$ ), com dois fios e resistência elétrica de 1000 Ohms a 25°C, operando na faixa de -20°C até 70°C, com precisão de 0,1°C.

As medidas de resistência elétrica foram feitas por um multímetro digital de 4½ dígitos. A precisão dos valores de resistência obtidos na faixa 0,1k $\Omega$  a 100 k $\Omega$  é de  $\pm 0,1\%$  ( $\pm 3$  dígitos).

As propriedades térmicas que caracterizam o solo são definidas por três parâmetros: a condutividade térmica  $k$  [cal/(s.cm.°C)], a difusividade térmica  $a$  [cm<sup>2</sup>/s] e o calor específico  $c$  [cal/g°C], sendo a relação entre eles expressa pela seguinte equação (Moscicki, 1987).

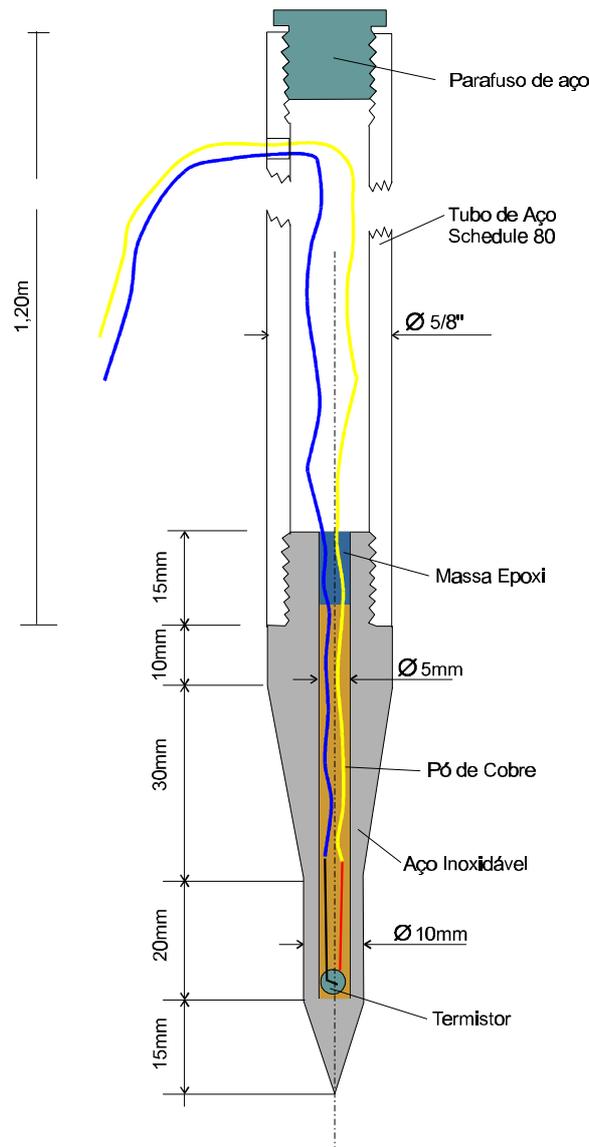
$$a = kc^{-1}r^{-1}, \text{ sendo } r \text{ a densidade do solo [g/cm}^{-3}\text{]}$$

A consulta de tabelas de valores destes parâmetros para diferentes tipos de rocha (Moscicki, op.cit.), revela que praticamente não há grande diferença entre a condutividade térmica de um solo arenoso seco (0,35 – 0,55 [10<sup>3</sup>cal/s cm °C]) e um solo argiloso seco (0,25 [10<sup>3</sup>cal/s cm °C]), porém, a relação entre a condutividade térmica de um solo arenoso seco e solo arenoso úmido, bem como, entre um solo argiloso seco e solo argiloso úmido, em ambos os casos, chega ser de 10 vezes, sendo a condutividade térmica maior nos solos úmidos.

Devido às dificuldades de colocação da sonda a um metro de profundidade, foram elaborados vários projetos de sondas para eleger o mais adequado. Dos projetos analisados foi escolhido o denominado de MODELO 4, tal como apresentado na figura 1.

O material utilizado no corpo da sonda foi o tubo de aço *schedule 80* de 5/8 de polegadas de diâmetro, e comprimento igual 1,20 metro.

Também foram testados vários processos de instalação das sondas de temperatura. Todos os testes foram conduzidos para se obter leituras as mais fidedignas possíveis do local estudado. Onde o solo apresentava menos resistência, a cravação das sondas era feita por meio de golpes de marreta, nos locais de solos mais resistentes foi utilizado um cavalete, confeccionado em tubo de aço, para permitir a elevação de um peso de 25 kg e golpear a sonda.



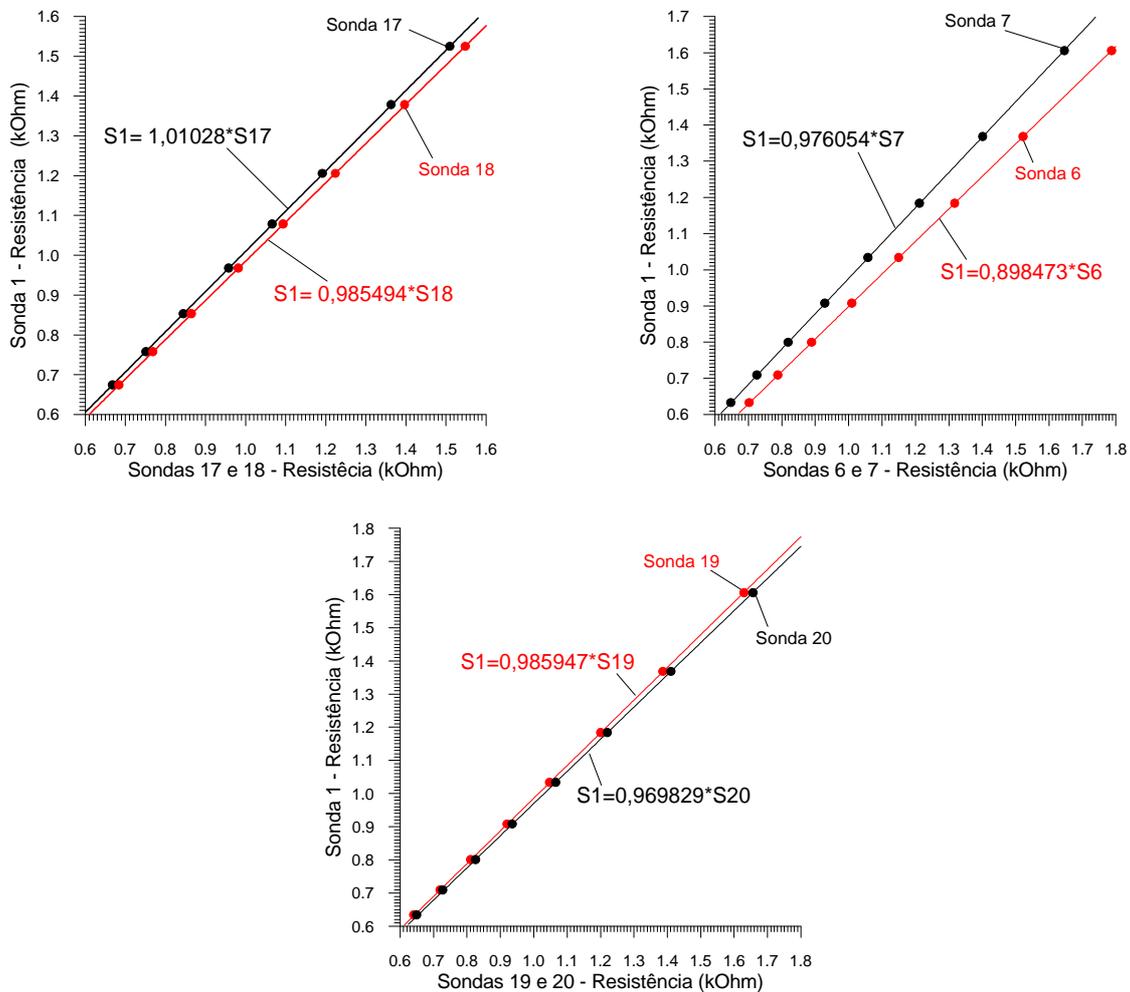
**Figura 1.** Sonda de Temperatura MODELO 4

Como há pequenas diferenças construtivas entre os termistores, foi necessário proceder uma calibração entre as sondas para que todas tivessem o mesmo referencial

de leitura, permitindo a comparação dos valores obtidos, pelas diferentes sondas, ao longo dos perfis.

Foram confeccionadas 25 sondas e numeradas de 01 a 25. A sonda 01 foi tomada como referencial, ou seja, as demais sondas, de 02 a 25, foram calibradas em relação a sonda 01. Desta forma as temperaturas obtidas nos perfis foram como se tivessem sido obtidas apenas com a sonda 1.

Apenas como exemplo são apresentadas algumas curvas de calibração na figura 2. As calibrações foram feitas em termos da resistência elétrica dos termistores. Apenas a sonda 01 teve uma curva de conversão de resistência elétrica x temperatura em graus centígrados, apresentada na figura 3. Foi verificado que é necessário uma nova calibração a cada 6 meses para manter o mesmo grau de precisão entre as medidas.



**Figura 02 – Curvas de Calibração**

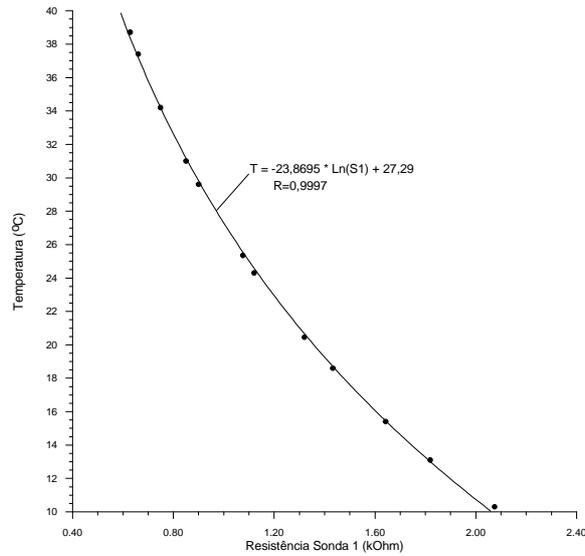


Figura 3. Temperatura x Resistência Elétrica da Sonda 1

### 5. PERFIS REALIZADOS

Alagoinha é um município do agreste pernambucano, situado aproximadamente a 220 km de Recife, figura 4.

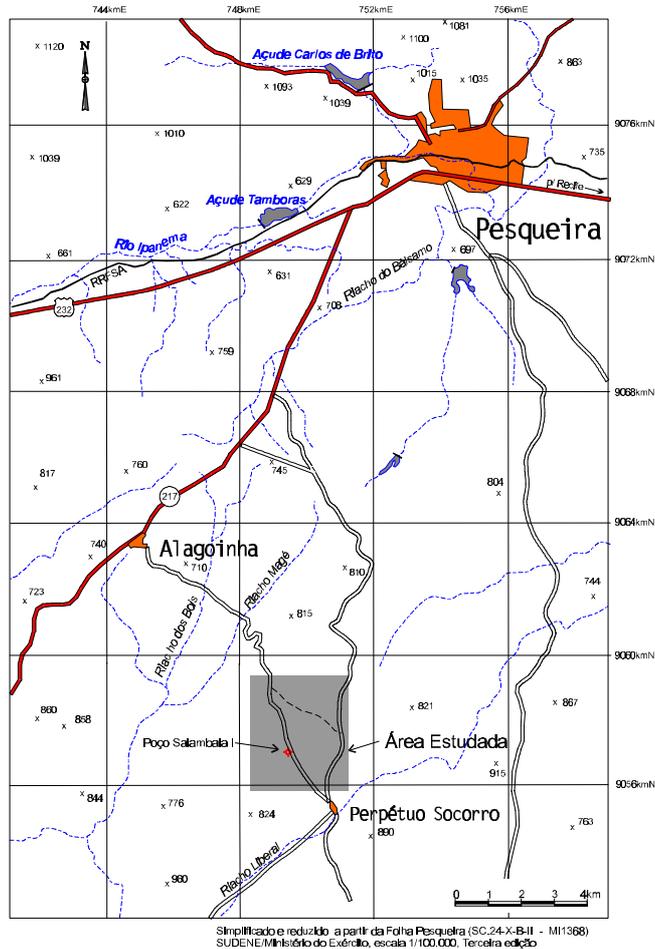
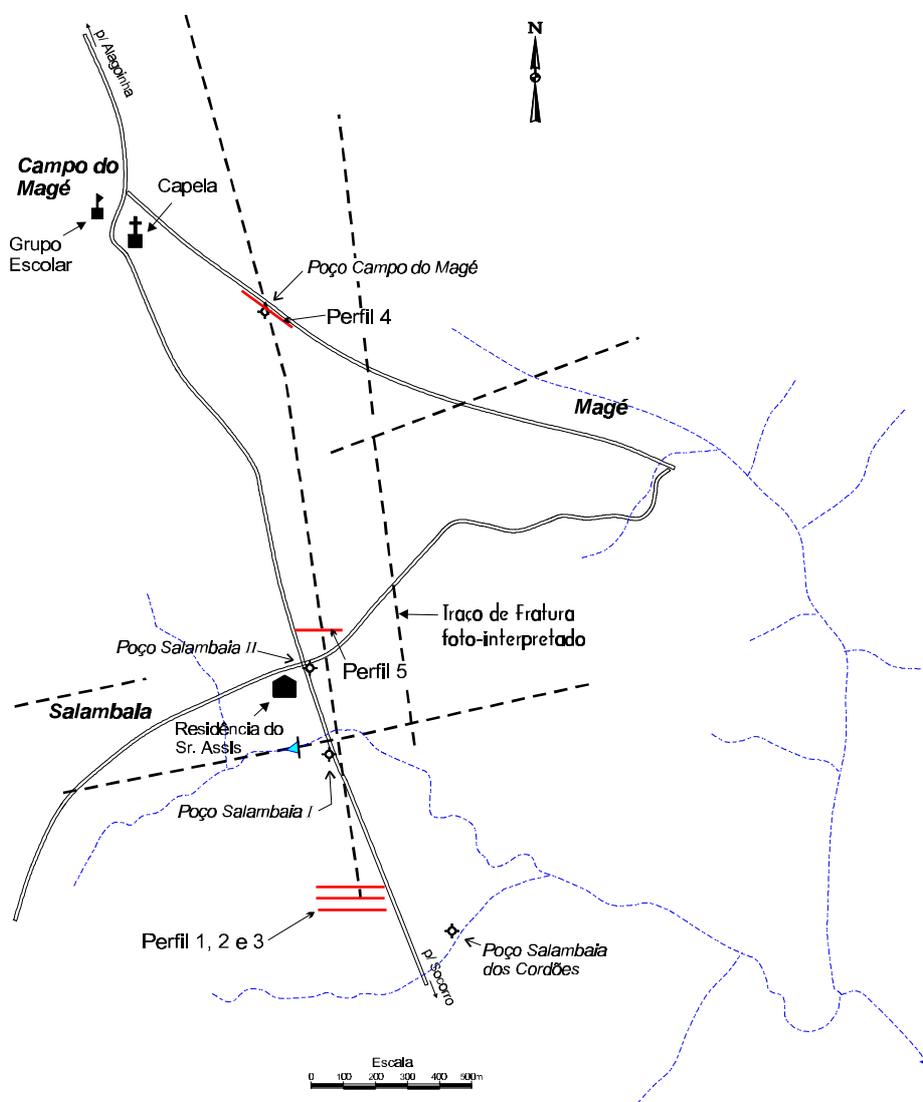


Figura 4. Localização da Área Estudada em Alagoinha

A escolha dessa área foi em decorrência dos estudos (Feitosa, 1994) e da perfuração de um poço, com vazão de exploração da ordem de 10 m<sup>3</sup>/h (anômala para o cristalino nordestino) realizados pela EMATER-PE - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural, através da sua divisão de Águas Subterrâneas. Os estudos realizados consistiram de uma análise detalhada das aerofotos, perfis de eletroresistividade, perfis de VLF e ensaios de bombeamento. Ainda nessa mesma área, Ferreira (1996) desenvolveu sua dissertação de Mestrado. Todas essas informações permitiram uma boa caracterização das estruturas geológicas existentes, qualificando perfeitamente o local para os ensaios com perfis horizontais de temperatura. Foram realizados 5 perfis de temperatura na área de Alagoinha, conforme mostra a figura 5.



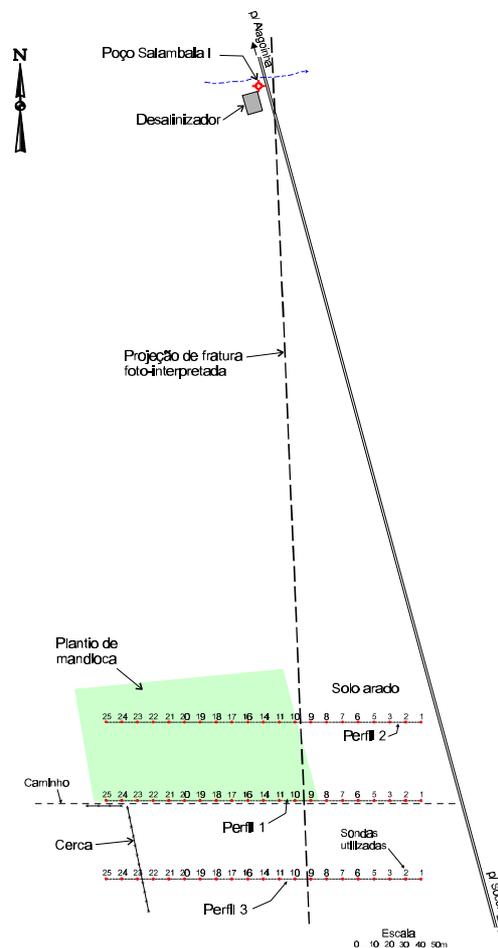
**Figura 5.** Detalhe da Área Estudada em Alagoinha e Localização dos Perfis de Temperatura

Foram realizados perfis de VLF de apoio, coletadas amostras de solo do local de medição, para determinação de teor de umidade e análise granulométrica, e medida a compacidade do solo através da contagem do número de golpes necessários para instalação das sondas. Também foram realizados perfis de temperatura a 1,0 e a 0,5 m de profundidade para verificar a possibilidade de utilizar profundidades mais rasas nos futuros perfis.

As temperaturas foram tomadas após equilíbrio térmico. Testes preliminares revelaram a necessidade de aguardar, pelo menos, duas horas após a instalação da última sonda

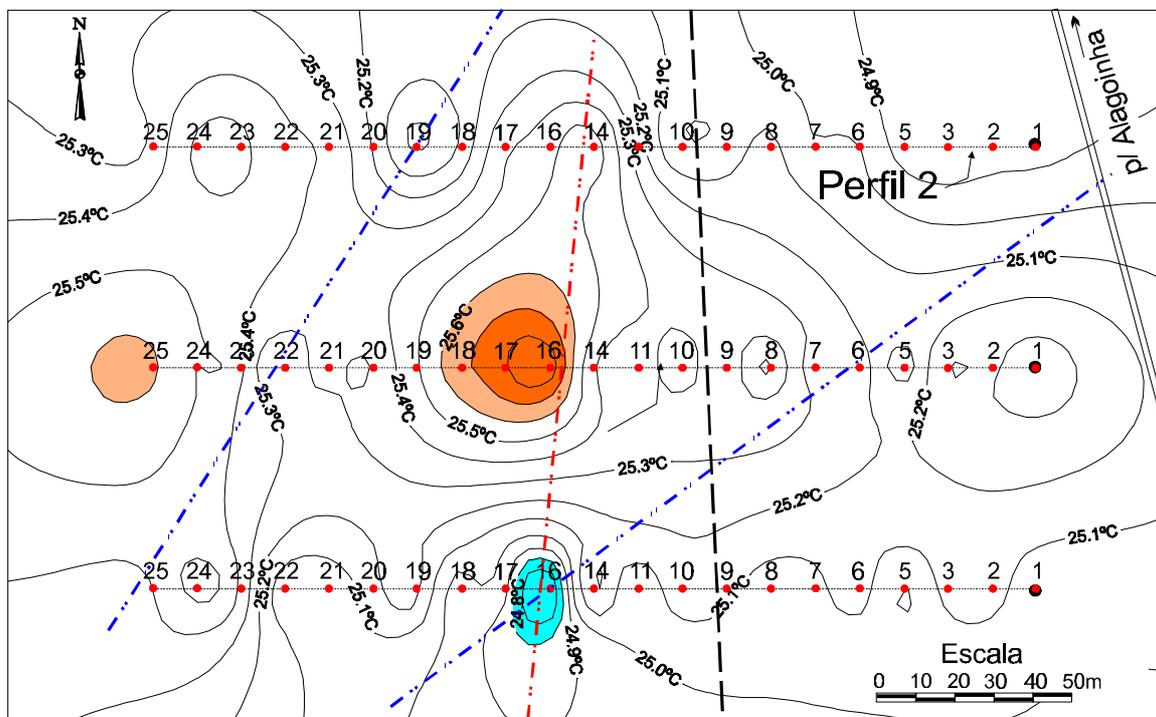
Os pontos de medição de temperatura foram nivelados para se verificar as possíveis influências da topografia nos perfis de temperatura.

Inicialmente foi realizada uma série de três perfis paralelos, situados aproximadamente 450 m ao sul do poço Salambaia I. O espaçamento entre os perfis foi de 50 metros e a distância entre as sondas de 10 metros. Foram utilizadas 21 sondas, permitindo que os perfis tivessem 200 metros de extensão. A figura 6 mostra todos os detalhes da localização desses três perfis.



**Figura 6.** Localização dos Perfis 1, 2 e 3 Realizados em Alagoínha

Como os três perfis foram próximos será apresentada aqui apenas a interpretação conjunto dos três na forma de mapa, tal como mostra a figura 7.

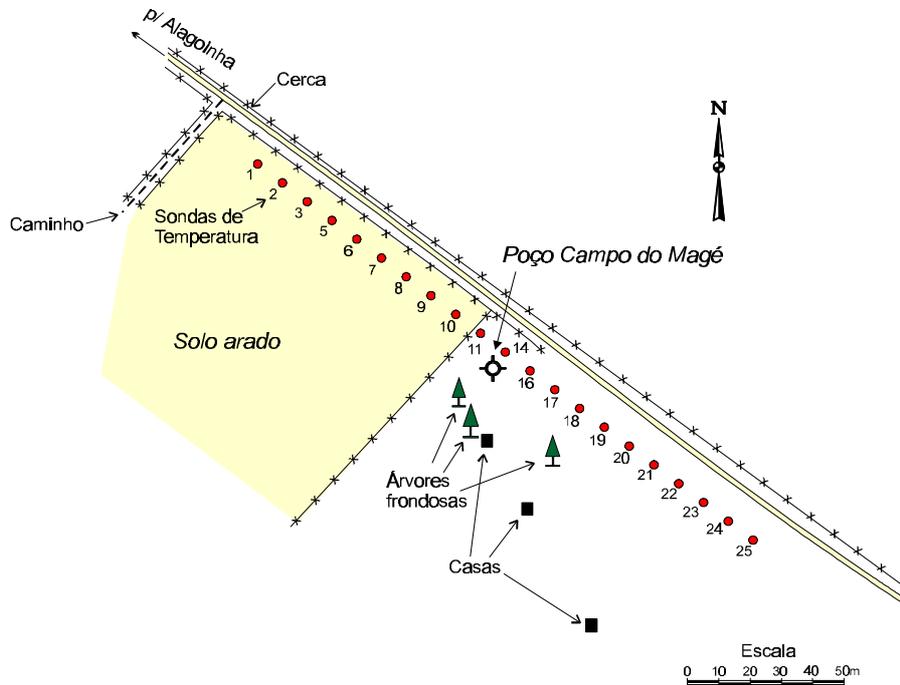


**Figura 7.** Mapa de Temperatura no Local dos Perfis 1, 2 e 3

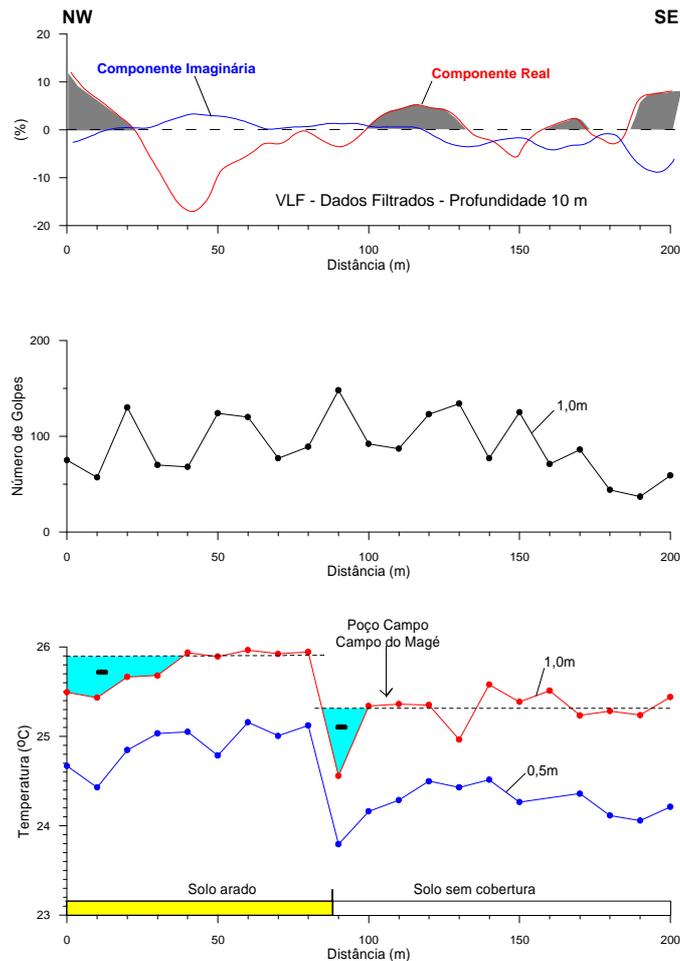
As isolinhas de temperatura, apesar da diferença de espaçamento entre os perfis e o espaçamento das sondas, que é de cinco vezes, apresentam nítida tendência de alongamento na direção N-S. O alinhamento das principais anomalias (linha vermelha interrompida) é praticamente coincidente com o prolongamento do traço de fratura (linha preta tracejada), detectado na fotografia aérea, que passa nas proximidades do poço Salambaia I

O perfil 4 foi o único que pôde ser realizado próximo a um poço tubular, mais precisamente a 5,0 metros de distância. O poço em questão é denominado de Campo do Magé, em referência à localidade em que está situado. A figura 8 mostra um mapa com os detalhes das imediações do perfil 4. No perfil 4 também foram medidas temperaturas a 0,5 e 1,0 metro de profundidade, contados os golpes necessários para instalar a sonda a 1,0 metro de profundidade e medido o perfil de VLF. Todos esses perfis foram agrupados para compor a figura 9.

A cobertura do solo no local do perfil 4 até às proximidades da décima sonda, era apenas um solo arado, aguardando chuvas para ser cultivado. A partir desse ponto o solo apresentava apenas algumas manchas esparsas e ralas de gramíneas.



**Figura 8 – Localização do Perfil 4**



**Figura 9. Perfil 4**

A comparação entre os perfis de temperatura obtidos a 0,5 metro e a 1,0 metro, mostra um quase perfeito paralelismo, o que sugere a possibilidade de serem feitos perfis com medição das temperaturas a apenas 0,5 metro.

A análise dos perfis de temperatura mostra de imediato um nítido degrau, de aproximadamente 0,5 °C, entre as medidas realizadas sob o solo arado e as realizadas sob o solo sem cobertura.

Separando o perfil de temperatura em função da natureza da cobertura do solo, percebe-se que há duas fracas anomalias negativas. A primeira na parte do solo arado, logo no início do perfil, de aproximadamente 0,4 °C. A segunda anomalia ocorreu na transição dos dois tipos de cobertura do solo. Não há como determinar até que ponto a transição entre as diferentes coberturas poderia influenciar na intensidade da segunda anomalia. Porém, é lícito imaginar que se a diferença é devida apenas à natureza da cobertura do solo, não haveria razões para ocorrer uma queda tão forte de temperatura.

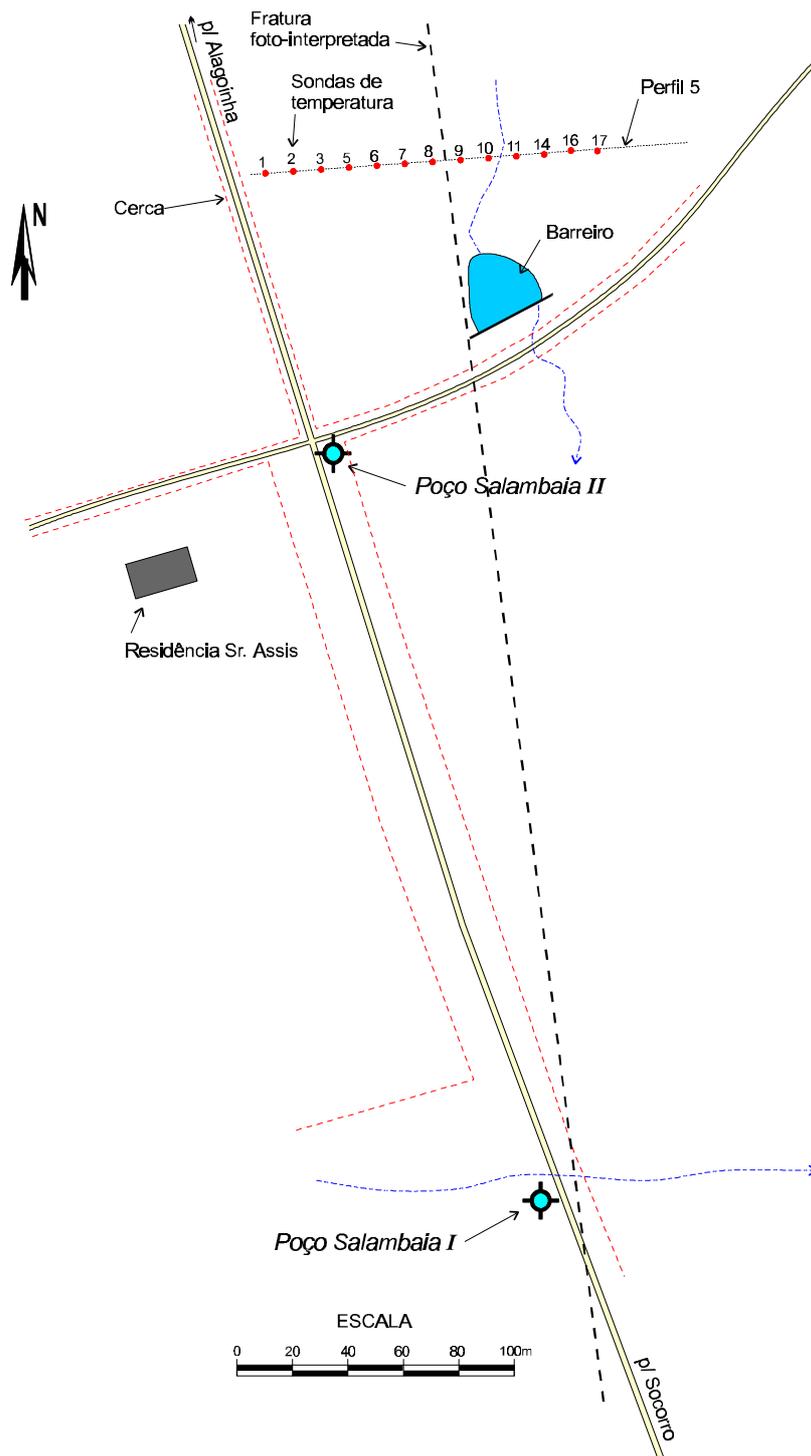
Simplesmente deveria haver a mudança de patamar de temperatura, formando apenas um degrau.

O poço Campo do Magé foi locado durante os estudos de eletro-resistividade e VLF. Segundo esses estudos, a mesma fratura que passava nas proximidades do poço Salambaia II e Salambaia I estaria passando em Campo do Magé. Dos três poços, o Campo do Magé foi o que apresentou menor vazão de produção, apenas 1,0 m<sup>3</sup>/h, enquanto o poço Salambaia II pode produzir 3,0 m<sup>3</sup>/h e o poço Salambaia I 10 m<sup>3</sup>/h. Esses três poços estão alinhados segundo a direção N-S, conforme foi mostrado na figura 5. Segundo os dados de vazão de produção, há uma diminuição da mesma no sentido norte, o que poderia ser apenas um reflexo da diminuição de capacidade para produzir água da fratura, ou talvez a locação não tenha sido precisa, coincidindo com trechos pouco produtivos da fratura.

Admitindo que a fratura apresente uma diminuição da sua capacidade de produção de água de sul para norte, talvez esse fato explique as fracas anomalias de temperatura registradas no perfil 4.

A comparação visual do gráfico do número de golpes para instalação das sondas a 1,0 metro de profundidade com o gráfico da temperatura mostra que não há qualquer relação entre eles. Foram coletadas apenas duas amostras, uma no local mais compacto, 148 golpes, que coincide com segunda anomalia negativa de temperatura, e outra no local menos compacto, 37 golpes, que foi no local da penúltima sonda. A umidade determinada para essas amostras foi de 1,43% e 2,40%, respectivamente.

O perfil 5 foi realizado cerca de 100 metros ao norte do poço Salambaia II. Devido à dificuldade encontrada na instalação das sondas ficou com apenas 120 metros de extensão. A figura 10 mostra o mapa de situação do perfil 5.

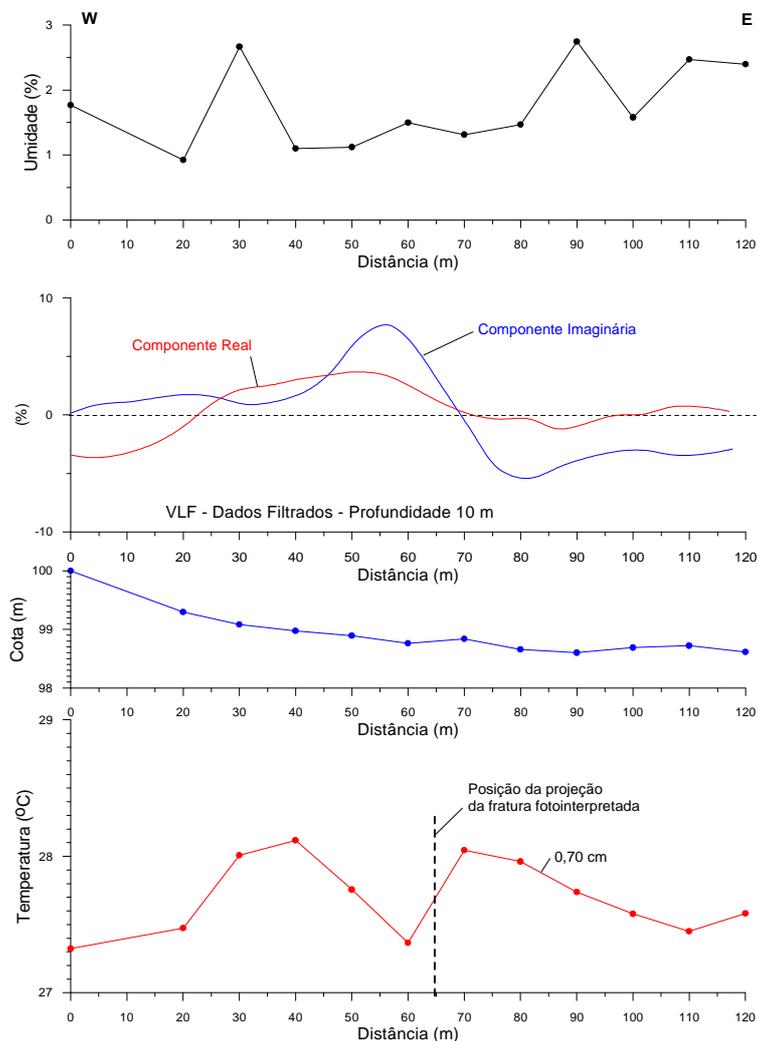


**Figura 10.** Detalhes das Proximidades do Perfil 5

Além das medições de temperatura, foram coletadas amostras para determinação do teor de umidade, medido o perfil de VLF e feito o nivelamento dos pontos. Todas essas informações foram colocadas na forma de gráficos, os quais são apresentados na figura 11.

Ao longo do perfil 5 não havia praticamente nenhuma cobertura vegetal, nem o preparo do solo para o cultivo, nem a presença de qualquer árvore, ou arbusto, que pudesse influenciar na caracterização do perfil de temperatura.

O perfil de temperatura obtido tem uma forma que dá margem a duas interpretações. A primeira seria a presença de duas anomalias positivas, com intensidade de aproximadamente 0,8 °C e a segunda seria apenas uma anomalia negativa. O importante é ressaltar que o traço da fratura foto-interpretada passa exatamente entre as duas anomalias positivas, ou coincide com a anomalia negativa. Desta forma, há fortes indícios de que a fratura seja a responsável pelo sinal térmico registrado.

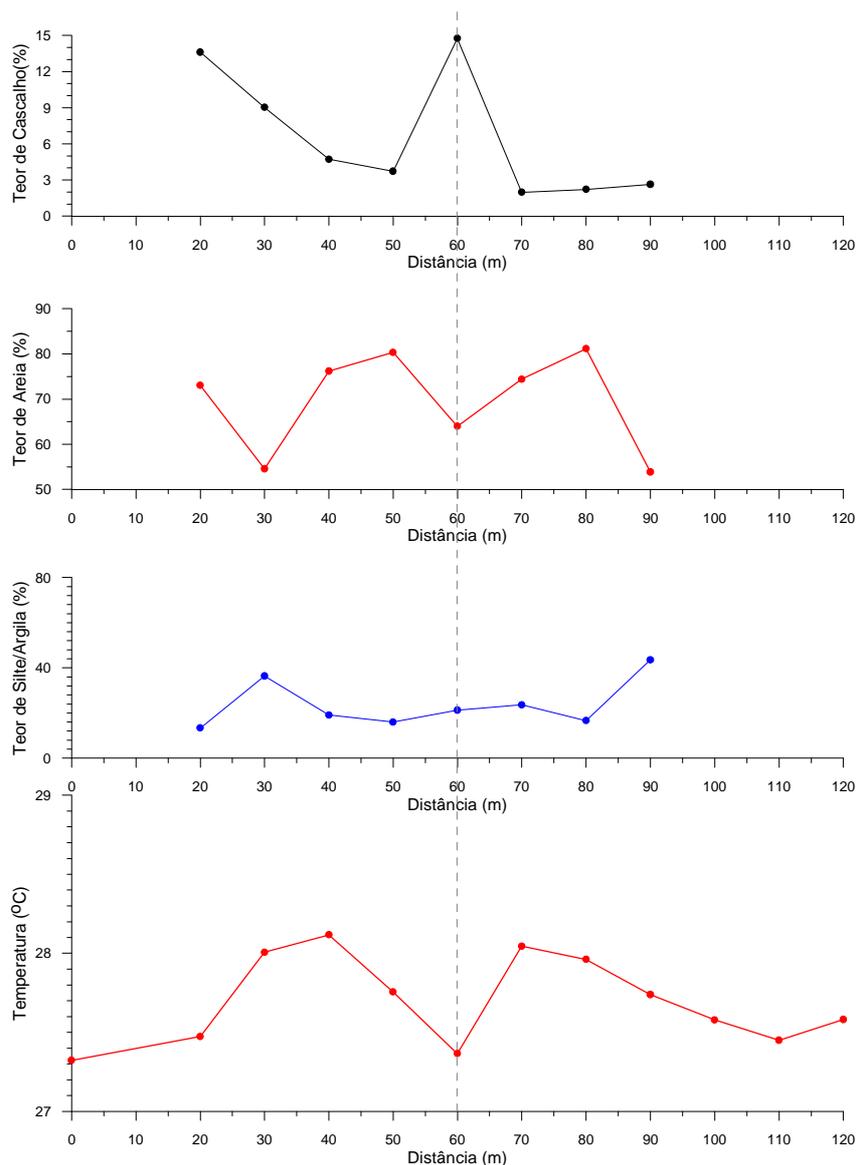


**Figura 11.** Gráficos do Perfil 5

O perfil de umidade não apresenta qualquer relação com o perfil de temperatura. Se observada atentamente, a tendência geral da curva de umidade é o inverso da tendência do relevo, ou seja, o relevo apresenta um suave caimento de oeste para leste, enquanto a

umidade aumenta levemente no mesmo sentido. Essa relação da umidade com o relevo talvez se deva à existência de um talvegue por onde correm as águas pluviais.

A partir dos teores de cascalho (>2mm), areia(>0,063 e <2mm) e silte/argila(<0,063), foi elaborado, a exemplo do perfil 3, gráficos em função da distância, para fins de comparação com o perfil de temperatura. Todos esses gráficos foram reunidos na figura 12.



**Figura 12.** Comparação do Perfil de Temperatura com os Teores de Cascalho, Areia e Silte/Argila – Perfil 5

A análise dos gráficos da figura 12 mostra que os teores de silte/argila não apresentam qualquer relação com o perfil de temperatura, enquanto o gráfico dos teores

de areia é, na forma, bastante semelhante ao perfil de temperatura. O teor de cascalho apresenta um pico de máximo exatamente no local da anomalia negativa de temperatura. Portanto, a idéia de que as trocas de ar e as conseqüentes trocas de calor são facilitadas na presença de solos com maior teor de cascalho, fica reforçada com os resultados obtidos no perfil 5. A boa correspondência entre os gráficos das frações grosseiras do solo e o gráfico da temperatura, talvez se deva ao Fato das amostras terem sido coletadas no cristalino alterado.

## **6- CONCLUSÕES**

Com base nos dados colhidos e nas considerações anteriores são as seguintes conclusões:

- ✓ Foi estabelecido o tipo de sonda apropriada para medições de temperatura do solo a 1,0 metro de profundidade, bem como o processo de instalação da mesma
- ✓ As sondas de aço são as mais indicadas para a elaboração de perfis de temperatura, pela resistência e facilidades de instalação que apresentam.
- ✓ O espaçamento de 10 metros entre as sondas é o mais adequado para estudos mais gerais. Para detalhamento o espaçamento de 5 metros é o mais indicado.
- ✓ Deve-se aguardar, pelo menos, 2 horas após a instalação da última sonda do perfil para fazer as leituras de temperatura.
- ✓ O perfil horizontal da umidade do solo está mais associado as feições topográficas e com a compacidade do solo, não sendo detectadas relações com o perfil de temperatura. As anomalias de temperatura estão mais relacionadas com os teores de cascalho do solo.
- ✓ A realização dos perfis horizontais de temperatura do solo mostrou que há possibilidades de utilização dos mesmos na identificação de fraturas, em rochas do embasamento cristalino do semi-árido nordestino.
- ✓ Perfis de temperatura obtidos com leituras feitas a cinquenta centímetros de profundidade apresentam curvas semelhantes aos perfis com leituras de temperatura a 1,0 metro profundidade. Assim, em locais com

dificuldades de instalação das sondas a 1,0 metro, perfis com apenas 0,5 metro de profundidade podem ser utilizados sem prejuízo nas informações obtidas.

- ✓ O relevo, pelo menos nos casos estudados, não apresentou qualquer relação com as anomalias registradas.
- ✓ Os perfis de VLF, em geral, corroboraram na caracterização das anomalias de temperatura.
- ✓ A utilização de perfis de temperatura é bastante limitada pelo fato do cristalino no semi-árido do nordeste ser bastante raso e muitas vezes aflorante.
- ✓ Havendo condições favoráveis de solo e número suficiente de sondas, é possível a realização de 6 a 7 perfis, de 200 metros, em um único dia, empregando apenas duas pessoas. O método caracteriza-se pela agilidade e praticidade.
- ✓ O trabalho aqui apresentado representa apenas o primeiro passo da pesquisa de uma nova metodologia, portanto, há muito ainda por fazer para torná-la operacional, ou demonstrar que não corresponderá plenamente aos anseios iniciais.

## **6 – REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

- 1) DEMETRIO, J.G.A.; DOHERTY, F. R; ARÚJO FILHO, P. F. e SCHEFFER, S., 1993, *Qualidade de Água Subterrânea no Nordeste Brasileiro*, 45<sup>a</sup> Reunião Anual da SBPC, Vol. 2, Recife.
- 2) DEMETRIO, J.G.A., 1998, *Perfis de Temperatura na Locação de Poços Tubulares no Cristalino do Nordeste Brasileiro*, Tese de Doutorado, USP/IG, São Paulo, 109 p.
- 3) FEITOSA, E.C., 1994, *Alagoinha/ PE – Caracterização de Zonas Fendilhadas no Cristalino através do Método Geofísico de Eletroresistividade*, Relatório Técnico Inédito, EMATER/PE-LABHID/UFPE, Recife.
- 4) FERREIRA, J. de A., 1996, *Hidrogeologia e Hidroquímica da Região de Alagoinha-PE – Aplicação de Novos Critérios Técnicos para Locação de Poços no Aquífero Fissural*, Dissertação de Mestrado, UFPE/CT, Recife, 173 p,

- 5) GEERTSMA, J., 1971, *Finite-element Analysis of Shallow Temperature Anomalies*, *Geophys. Prosp.*, 19, n<sup>o</sup>. 4, 662-681.
- 6) KHESIN, B. E. e EPPELBAUM, L. V., 1994, *Near-Surface Thermal Prospecting: Review of Processing and Interpretation*, *Geophysics*, 59, n<sup>o</sup> 5, 744-752
- 7) KAPPELMEYER, O., 1957, *The Use of Near-surface Temperature Measurements for Discovering Anomalies due to Causes at Depths*, *Geophys. Prosp.*, 5, n<sup>o</sup> 3, 239-258.
- 8) MOSCICKI, W. J., 1987, *Temperature Anomalies over Underground Cavities*: *Geophys. Prosp.*, 35, n<sup>o</sup> 4, 392-423.
- 9) OELSNER, Chr., 1989, *Prospects and Limitations of Large-scale Surface Geothermal Measurements*, *Tectonophysics*, 164, 369-374.
- 10) PARASNIS, D. S., 1971, *Temperature Extrapolation to Infinite Time in Geothermal Measurements*, *Geophys. Prosp.*, 19, n<sup>o</sup>. 4, 612-614.
- 11) POLEY, J. Ph e van STEVENINCK, J., 1970, *Geothermal Prospecting - Delineation of Shallow Salt-domes and Surface Faults by Temperature Measurements at a Depth of Approximately 2 Metres*: *Geophys. Prosp.*, 18, n<sup>o</sup>. S, 666-700.
- 12) POLEY, J. Ph e van STEVENINCK, J., 1971, *Thermal Near-Surface Expression of Shallow Geological Features*, *Geophysical Prospecting*, 19, n<sup>o</sup> 4, 695-697.